

## 第5節 教育課程外の課題探究活動

### 3-5-1 生徒研究員制度

#### (1) 仮説

生徒研究員制度は、授業後や長期休暇中に生徒が主体的に課題に取り組む課題探究である。本校では、授業時間内に多くの課題探究の時間が保障されている。中学2年生・3年生のSS課題研究Ⅰ、高校1年生・2年生のSS課題研究ⅡおよびSS課題研究Ⅲにおいて課題探究に取り組む機会がある。しかし、授業内だけでは、実験・観察などは十分に行うことはできない。そこで、授業時間以外の時間で長時間かけて多様な探究活動ができる機会として、生徒研究員制度を設けた。この生徒研究員制度を設けることによって、生徒自身が設定した課題について、長く深く探究できると考えた。

#### (2) 実践

高校生と中学生と一緒に活動しており、最大6年間自分の研究を継続することが可能である。現在は、チャンドラセカールプロジェクト、数学プロジェクト、色素プロジェクト、スライモールド(粘菌)プロジェクト、ヒドラプロジェクト、相対論・宇宙論プロジェクトの6つのプロジェクトが探究活動を行っている。

#### (3) 評価

相対論・宇宙論プロジェクトは、2020年8月のSSH生徒研究発表会において「ポスター発表賞」を受賞した。

例年参加している名古屋大学MIRAI GSC、東海地区フェスタは中止となり、姉妹校であるニューヨークのバード高校における本校主催の研究交流も中止となった。

今年度は校外での発表はすべてオンラインとなったことと、研究開始が遅れたことから、例年より発表回数が減っている。また、SSH研究成果発表会や文化祭でのポスター発表など校外に向けた発表も中止となった。しかし、生徒たちの中から、感染対策を講じた上で発表会を行う実施案が出され、第1回目は11月に実施された。第2回目は3月に実施予定である。このように6つのプロジェクト長が協力して研究を深めるという基盤ができているので、これを継続させていきたい。

### 3-5-2 色素プロジェクト

#### (1) 仮説

色素プロジェクトは、第1期SSH1年次に発足してから、今年度で15年目となる。色に対して興味関心を持つ生徒は多く、休校で参加申し込み時期が遅れた今年度も中学高校合わせて約60名が登録している。人数が多いため実験テーマは多様であり、小グループに分かれて活動している。グループに分けることで、各自が興味を持つテーマについて研究することができる。特に中学生では、日常生活の中で見つけるような身近な題材を選んで基本的な探究方法を学ぶことを目標としている。

#### (2) 実践

今年度は、高校2年生と中学2年生のグループはメラニンについての研究に取り組んでおり、吸光度計を用いて毛髪から抽出したメラニン含量を測定している。これは、昨年度までの研究の継続である。塩基性条件で抽出したメラニン中性や酸性では不安定であるという実験結果を得たが、原因については現在研究中である。

研究テーマ設定の動機は、捨てられる毛髪からメラニン色素を抽出して染毛剤を作ることであっ

た。しかし、市販のメラニンによる染毛剤では、メラニンの前駆体を用いている。メラニンの分子が大きいために、毛髪に染み込むことができないからである。このことは昨年度からの継続した問題点であるが、染色できる条件を探して試行錯誤を行っている。

高校1年生のグループは、こすると摩擦熱で色が消えるインクに興味を持ち、何℃で色が変化し、酸性や塩基性条件ではその変化が異なるのかを検証している。塩基性条件では、黒色が残ることや、白い紙の上では色が消えるように見えるが、実際には白色に変化していることに気づいた。インクの色が消える原理についてはわかっているが、生徒たちが自分で作ることは難しい。現在は、インクの性質を研究する中で糸口を探している。

### (3) 評価

例年であれば、4月に高校3年生から1・2年生に対してこれまでの研究の説明をして、実験方法を伝達する機会があったが、今年度はそれができなかった。活動の制限も多いが、それでも地道に実験を重ねているグループもあり、子どもたちの好奇心はこのような状況下でも大きな原動力になると感じている。

これまで、鉱物中の銅の含量測定、蛍光塗料の合成、植物の種類と含まれるクロロフィルの種類の関係、クロマメに含まれるアントシアニンの塩による発色の変化、コムギ糠の発酵によるアントシアニンの合成、キノコに含まれる色素など多様なテーマを研究してきた。

このように生徒たちが自分でテーマを設定して研究を行うことによって、生徒の興味・関心を深めることができる。しかし、自分たちでテーマ設定を行うことによって上級学年のテーマを引き継がないことが多くなる。研究テーマが異なると、下級生へのアドバイスも難しい部分もあり、各グループがそれぞれに研究する状態になる。このため、プロジェクト内で発表会を行って、それぞれのグループの進み具合を共有する機会を設けてきたが、今年度は残念ながら実施できていない。

このような状況ではあるが、自分たちが考えたテーマであるため粘り強く取り組んでいる。

(文責 石川久美)

## 3-5-3 Slime Mold Project

### (1) 仮説と実践

スライムモールドプロジェクトでは、真正粘菌であるモジホコリの行動及び生態を研究しており、粘菌の様々なパターンにおける行動からその規則性を調べることを目標としている。今年度は、新型コロナウイルス感染症の影響もあり、十分な活動には至らなかったが、次年度につなげるため、初年度から前年度までに行った実験の確認をしたため、粘菌の繁殖が中心となる活動であった。

### (2) 評価

プロジェクトの生徒たちは、「モジホコリの変形体の活動規則に基づくシミュレーション作り」を目標にしている。

今後については、自分たちで実験計画をたて、試行錯誤しながら、研究を進めていき、プロジェクト立ち上げ当初に行っていた粘菌の交通網の実験と昨年度まで行っていたクエン酸のストレス耐性の実験を組み合わせ、どのように行っていくとよいかを考えているので、実験計画とともに、実験の確証を高めていきたい。

(文責 西川陽子)

### 3-5-4 チャンドラセカールプロジェクト

#### (1) 仮説

普段の生活の中で感じる身近な疑問に対し、根拠を持って分析することで、多様なものの見方や論理的思考を構築することができる。議論の根拠として実験やシミュレーションの結果を分析することで、物理的な方法の重要性を学ぶことができる。

#### (2) 実践

##### 1) 学習方法

各自の興味に基づいたテーマ設定が望ましいが、毎年中学校1年生が多いのでテーマをある程度集約して、班を編成している。班による研究は、話し合いの機会を増やすことが期待でき、また、指導の負担を減らすことができる。

テーマ設定に重点を置き、自身ができる解決方法について熟考させる。興味に基づくものであっても、結果の安定性に難があると予想される場合は再考を促すこともある。

研究の過程は、実験ノートにまとめることで、正確に記録を残す習慣をつくる。このためには、ノートはハードカバーであるなど、「カッコいい」ものが望ましい。

##### 2) 実践内容

テーマをいくつか列挙すると、「よく飛ぶ紙飛行機」「パラシュートの落下」「水の電気分解の効率」「色と温度上昇の関係」「マスクの性能」などである。

#### (3) 評価

今年はコロナウイルスによる休校の影響も大きく、対外発表レベルの成果を出せた班はなかった。まとめの発表を行ったが、条件設定がそろっていなかったりしている班が多く、時間不足を強く感じた。

来年度以降、どのように継続していけるのかは不透明な部分が多いが、テーマ設定に対する生徒の主体性は大事にしていきたいと思う。  
(文責 竹内史央)

### 3-5-5 数学プロジェクト

#### (1) 仮説

SSH校に指定される依然と比べ、指定後はより多くの生徒が進路選択で理系を選択するようになり、在校生や入学希望者の数学・理科に対する興味が高まっている。数学プロジェクトでは、特に数学に強い興味をもつ生徒が集まり、普段の授業で学んでいること以外にも、数学に関連する素朴な疑問や、大学数学に通じる発展的な内容、その他数字を用いたパズルなどをテーマに、探究活動を行っている。また、校内の活動に加え、他校との交流を通し、同じように数学に興味をもつ仲間を見つけ、問題解決することの楽しさや大変さを共有しながら、自分の興味を更に深めている。

#### (2) 実践

数学の得意・不得意に関係なく、全員が関わることができる取り組みとして、問題の作問およびその解説作りを行っている。さらに、作成した問題を冊子にまとめ、互いに解き合い、面白い問題への投票を行った。また、定期的集まり、各自が用意した数学のトピックの紹介をしたり、他の学校や大学と連携して、講演会などのオンラインイベントを行ったりした。

#### (3) 評価

数学好きな生徒が集まり、数学の楽しさを再発見する場となっている。さらに、他のコンクール

や本校主催のSSH重点枠の企画などに参加し、数学を利用して自分の力を外部に発信する姿が見られる。(文責 若山晃治)

### 3-5-6 ヒドラプロジェクト

#### (1) 仮説

授業で取り組む実験は、单元ごとに観察する目的の現象がある。そのため、生徒が自ら興味を持った現象を研究課題に設定し、自由に実験計画を設定することが難しい。本プロジェクトでは主に水生生物を実験の題材とする。見つけた題材について生態や特徴を調べ、仮説の設定と、仮説に基づいた課題を解決する力を育てることを目標とする。さらに、実験の題材とする生物を通して生命の大切さを意識させる。

#### (2) 実践

##### 1) 学習方法

各自題材とする生物に基づいて班編制をおこなう。班による研究は、実験の種類を増やすことが期待できる。また、生物を扱う研究はその生物の維持に大きなエネルギーと時間を費やすため、複数で飼育する事により個々の負担を軽減させる。

仮説を立てることに重点を置き、自身ができる解決方法について熟考させる。この時、無闇に実験生物を酷使する内容であれば実験の再考を促す。また、失敗することが予測される実験であっても、危険性が伴うことや備品の大きな損失がないようならば、難しいことを伝えつつも実施することは止めない。このことで、事前の実験計画の大切さを学習させる。

実験ノートにまとめることで、正確に記録を残す指導をする。ごく当たり前のことであるが、授業でしか実験を実施したことがない場合、実験ノートを作成できない。実験ノートの作成指導を通して、記録の大切さを意識させる。

##### 2) 実践内容

プロジェクトの発足時にはヒドラを用いて実験をおこなっていた。しかし、プロジェクトの発足から今年度までの間に、生徒達の興味関心の幅が広がったことで、研究対象を多くの水生生物にした。多様な生物が対象になったことで、アルテミア、ザリガニ、メダカ、カイミジンコ、ヌマエビ、オオカナダモ、ネンジュモなど、それぞれ興味を持って取り組んでいた。

高校生の考える生物の研究は、定性的なものが非常に多く、定量的な実験を組むことを重点的に指導した。生徒自身もその必要性を理解することで、同じ実験を繰り返して行うことや条件をそろえて一回の試行数を増やすなど試行錯誤している。例として、アルテミアの走光性の法則を調べる実験では、10回程度の試行回数だった実験を10倍以上の回数おこなうことで解析するデータの確実性を高めている。また、カイミジンコの食性について実験に取り組む生徒は、長期にわたって30以上のシャーレにとりわけたカイミジンコの解析を継続的におこなっている。

#### (3) 評価

仮説の設定は不十分ではあるものの、生徒自身が意識的に設定するように成長した。このことにより、実験で何を優先的に解析すべきかが明確になり、「なんとなく」実施していた実験に正確性が見られるようになった。

課題としては、生物の命に対する意識が非常に乏しく、また中庭の池から勝手に採取をして来てしまうなど、実験前の手続きに対する教育が大いに必要であることが挙げられる。自然科学の研究ではないが、実験をおこなう際の心構え、モラル・マナーについて根気良く指導していきたい。

(文責 齊藤瞳)



### 3-5-7 相対論・宇宙論プロジェクト

2014年度に創設した相対論・宇宙論プロジェクトは、今年度で7年目である。SSH 3期目（2016年度から2020年度）では、研究グループ毎に大学の先生方のご指導をいただき、研究を進めた。また、研究グループの中には、愛知県立明和高等学校SSH部物理・地学班との共同で研究を行った。本報告書では、相対論・宇宙論プロジェクトのSSH 3期目の生徒研究の内容と成果を報告する。

#### (1) 実践内容

##### 1-1 名古屋大学大学院理学研究科天体物理学研究室での研究

指導者：名古屋大学大学院理学研究科天体物理学研究室

福井 康雄 名誉教授，立原 研悟 准教授，佐野 栄俊 元特任助教，林 克洋 元研究員

##### ○分子雲衝突グループ

太陽の20倍から150倍の質量を持つ大質量星は、誕生の仕組みが20年以上に渡り研究されている。2009年以降、名古屋大学の研究グループが分子雲同士の超音速衝突によりO型星が誕生している例を10個以上発見した。この研究に興味を持った相対論・宇宙論プロジェクトの生徒が2015年度、2016年度に愛知県立明和高等学校SSH部物理・地学班との共同で分子雲衝突による大質量星を含む星団の誕生の仕組みの研究を行った（詳細は図7）。

##### ○ステラフィードバックグループ

星と星の間には、星間物質と呼ばれる希薄なガスが存在し、ガスが集まった雲が重力によって収縮して星ができるが、大質量星やそれを含む星団形成の時間進化の詳しい過程については、未だ研究されていない部分が多い。2015年度から2018年度に愛知県立明和高等学校SSH部物理・地学班との共同で、星団に含まれる大質量星が放射する紫外線によって自らの母体である分子雲を破壊するフィードバック効果に着目し、研究を行った（詳細は図8）。

##### ○ $\gamma$ 線グループ

星と星の間は完全な真空ではなく、希薄にガスが存在する領域がある。そこは宇宙の中で星形成が行われる領域と考えられており、それを分子雲という。それは水素原子ガスや水素分子ガス、星間微粒子（ダスト）で構成されている。従来より、分子雲の観測には電波やサブミリ波が用いられてきたが、 $\gamma$ 線による観測も可能であることを研究した（詳細は図9）。

##### 1-2 インターネット望遠鏡を用いた月の観測・解析の研究（月の解析グループ）

指導者：慶應義塾大学 表 實 名誉教授

インターネット望遠鏡というインターネットを通して操作できる望遠鏡を使った月の継続観測・解析についての研究を2015年度から2017年度に行った。まず、2地点からの月の同時観測による地球から月までの距離を測定した。また、月の見かけの大きさ、満ち欠けを継続観測し、月が近地点を通過してから再び近地点に達するまでの周期と月の満ち欠けの周期を観測した。これらの周期が異なることから地球が太陽の周りを公転していることが検証できた。そして、月の公転周期・満ち欠けの周期を用いた地球の公転周期の測定方法を考案した。月を継続観測することで、月の満ち欠けの周期の季節的变化から、地球の公転周期は理科年表とほぼ同じ値で測定することに成功した（詳細は図10）。

##### 1-3 ガウス加速器による射出速度の研究（ガウス加速器グループ）

指導者：名古屋大学大学院理学研究科 三浦 裕一 元准教授

ガウス加速器において、磁気的な位置エネルギーが運動エネルギーに変換され、鉄球が射出される。ガウス加速器に関する過去の研究において、連結する鉄球の数が増えるにつれて非弾性衝突の影響が大きくなることが明らかにされている。2016年度に、射出速度は連結球の個数を用いた指数

関数で記述できるという仮説を立て、連結球を従来のガウス加速器実験をはるかに上回る120個まで増やして実験した。そして、射出球の速度が鉄球1個あたりの減衰率を求めた（詳細は図11）。

#### 1-4 気象衛星が撮影した画像の解析（気象衛星グループ）

指導者：名古屋大学大学院理学研究科 三浦 裕一 元准教授  
名古屋大学大学院理学研究科宇宙論研究室 宮武 広直 特任助教

気象衛星は地球を観測することが任務であるが、その画像には太陽と月の位置に関する情報が含まれていることが分かった。2017年度から2018年度に、気象衛星が撮影した画像の解析により地球の軌道離心率と近点年を高い精度で求めた。また、皆既日食時の月影の移動から月の軌道速度を求めた。さらに、インターネット望遠鏡による月の視直径の時間変化測定から、近点月と月の軌道離心率、軌道長半径を解析し、月の軌道を求めた。2019年度には、地球-太陽間の距離を求めることを目標とした。皆既月食時に月面に投影された地球の本影の直径を用いて解析した。2018年度まで目視で行っていた画像解析を自動化し、再解析することで精度の向上を図った。これにより、月食時の地球-太陽間の距離が精度よく求めることができた（2018年度の研究成果の詳細は図12）。

#### 1-5 重力測定による地球半径の決定（重力グループ）

指導者：名古屋大学大学院理学研究科 三浦 裕一 元准教授

2018年度からビルや地下鉄、トンネル内での重力測定に挑戦し、重力の減少を確認した。これらの重力変化から「ガウスの法則」を用いて地球半径を求めたが、意外にも測定場所により文献値から大きく外れることが分かった。その原因を検討した結果、ビルの質量の影響が無視できないことが分かった。地球に比べ圧倒的に小さいビルの質量が、至近距離にあるため無視できない効果があった。この重力の補正項を利用し、ビルや山などの周囲の構造物の質量を見積もることができた（詳細は図13）。

## (2) 成果

研究成果を毎年、日本物理学会年次大会中に行われている「日本物理学会Jr.セッション」で発表した。2016年度から2019年度の4年間で10賞を受賞した（2016年度、2017年度は、全国の学校の中で最多受賞校）。2020年度は、新型コロナウイルス感染症拡大のため、発表が中止となった。また、高校生科学技術チャレンジにも応募し、2017年度から2019年度の3年連続で最終審査会に選出された。さらに、スーパーサイエンスハイスクール生徒研究発表会では、2018年度、2020年度に入賞した。

「月の解析グループ」の研究成果を教育プログラムとして教育論文誌に投稿し、査読を経て掲載された。

成果の詳細を表1、表2、図1～図13にまとめる。

	発表会	主催	賞
	規模		
2020年度	令和2年度 スーパーサイエンスハイスクール生徒研究発表会 (会場：オンライン)	文部科学省 JST	ポスター発表賞
	※SSH指定校及び過去に指定経験のある学校222校、文部科学大臣表彰1校、国立研究開発法人科学技術振興機構理事長賞2校、審査委員長賞3校、奨励賞6校、ポスター発表賞21校		
2019年度	第17回 高校生科学技術チャレンジ (JSEC2019) (会場：日本科学未来館)	朝日新聞社 テレビ朝日	優秀賞
	<p>※全国から267件の応募、特別賞13件、優秀賞17件 特別賞の中から7作品は、国際大会Intel ISEF(Intel International Science and Engineering Fair)に派遣。</p> <p>&lt;予備審査&gt; アブストラクト・研究レポートをもとに、約30名の審査委員が1作品あたり5～6人で採点。71作品を選出。</p> <p>&lt;一次審査会&gt; 予備審査を通過した研究作品について、アブストラクト・研究レポートをもとに約20名の審査委員が専門分野を中心に審査し、検討会議での協議を経て、最終審査会に進む32作品を選出。</p> <p>&lt;最終審査会&gt; 日本科学未来館にて、ポスター発表によるプレゼンテーション審査。各分野の専門家の専門審査と企業審査委員を含めた総合審査で各賞を決定。</p>		
2018年度	平成30年度 スーパーサイエンスハイスクール生徒研究発表会 (会場：神戸国際展示場)	文部科学省 JST	奨励賞
	※SSH指定校204校、文部科学大臣表彰1校、国立研究開発法人科学技術振興機構理事長賞2校、審査委員長賞3校、奨励賞7校、ポスター発表賞21校		
	第16回 高校生科学技術チャレンジ (JSEC2018) (会場：日本科学未来館)	朝日新聞社 テレビ朝日	優秀賞
	<p>※全国から247件の応募、特別賞13件、優秀賞17件 特別賞の中から6作品は、国際大会Intel ISEF(Intel International Science and Engineering Fair)に派遣。</p> <p>&lt;予備審査&gt; アブストラクト・研究レポートをもとに、30名の審査委員が1作品あたり5～6人で採点。60作品を選出。</p> <p>&lt;一次審査会&gt; 予備審査を通過した研究作品について、アブストラクト・研究レポートをもとに21名の審査委員が専門分野を中心に審査し、検討会議での協議を経て、最終審査会に進む30作品を選出。</p> <p>&lt;最終審査会&gt; 日本科学未来館にて、ポスター発表によるプレゼンテーション審査。各分野の専門家の専門審査と企業審査委員を含めた総合審査で各賞を決定。</p>		
	第15回 日本物理学会 Jr. セッション (2019) (会場：九州大学 伊都キャンパス)	日本物理学会	優秀賞2件 奨励賞
<p>※全国から131件の応募、最優秀賞1件、優秀賞5件、審査委員特別賞6件、奨励賞23件</p> <p>&lt;書類審査&gt; 応募レポート1件につき15名以上の審査員が、物理(科学的)センスを基盤に、実験・測定・観察の創意工夫やデータ解析・結果の考察などを生徒の自主性の大きさも加味して総合的に評価。</p> <p>&lt;当日審査&gt; 2時間のポスター発表で審査委員が着眼点、論理性、工夫、表現力の4点を評価。</p> <p>※表彰 書類審査・当日審査の結果をもとに、Jr.セッション委員会において賞を授与する研究を決定。</p>			

	発表会	主催	賞
	規模		
2017年度	第15回高校生科学技術チャレンジ (JSEC2017) (会場：日本科学未来館)	朝日新聞社 テレビ朝日	審査委員奨励賞 優等賞
	<p>※全国から174件の応募、特別賞12件、優等賞18件 特別賞の中から6作品は、国際大会Intel ISEF(Intel International Science and Engineering Fair)に派遣。</p> <p>&lt;予備審査&gt; アブストラクト・研究レポートをもとに、30名の審査委員が1作品あたり5～6人で採点。60作品を選出。</p> <p>&lt;一次審査会&gt; 予備審査を通過した研究作品について、アブストラクト・研究レポートをもとに21名の審査委員が専門分野を中心に審査し、検討会議での協議を経て、最終審査会に進む30作品を選出。</p> <p>&lt;最終審査会&gt; 日本科学未来館にて、ポスター発表によるプレゼンテーション審査。各分野の専門家の専門審査と企業審査委員を含めた総合審査で各賞を決定。</p>		
	第14回 日本物理学会 Jr. セッション (2018) (会場：東京理科大学 野田キャンパス)	日本物理学会	優秀賞 2件 奨励賞 2件
2016年度	第10回 高校生理科研究発表会 (会場：千葉大学 西千葉キャンパス)	千葉大学	千葉大学長賞
	<p>※関東地区の発表者を中心に337件の発表 地学部門：37件の発表の中から特別賞1件 (千葉大学長賞)</p>		
	第13回 日本物理学会 Jr. セッション (2017) (会場：大阪大学 豊中キャンパス)	日本物理学会	優秀賞 奨励賞 2件
2016年度	<p>※全国から142件の応募、最優秀賞1件、優秀賞10件、奨励賞20件</p> <p>&lt;書類審査&gt; 応募レポート1件につき14名以上の審査員が、物理(科学的)センスを基盤に、実験・測定・観察の創意工夫やデータ解析・結果の考察などを生徒の自主性の大きさも加味して総合的に評価。</p> <p>&lt;当日審査&gt; 2時間のポスター発表で5名以上の審査委員が着眼点、論理性、工夫、表現力の4点を評価。</p> <p>※表彰 書類審査・当日審査の結果をもとに、Jr.セッション委員会において賞を授与する研究を決定。</p>		
	<p>※全国から142件の応募、最優秀賞1件、優秀賞10件、奨励賞20件</p> <p>&lt;書類審査&gt; 応募レポート1件につき14名以上の審査員が、物理(科学的)センスを基盤に、実験・測定・観察の創意工夫やデータ解析・結果の考察などを生徒の自主性の大きさも加味して総合的に評価。</p> <p>&lt;当日審査&gt; 2時間のポスター発表で5名以上の審査委員が着眼点、論理性、工夫、表現力の4点を評価。</p> <p>※表彰 書類審査・当日審査の結果をもとに、Jr.セッション委員会において賞を授与する研究を決定。</p>		
	<p>※全国から142件の応募、最優秀賞1件、優秀賞10件、奨励賞20件</p> <p>&lt;書類審査&gt; 応募レポート1件につき14名以上の審査員が、物理(科学的)センスを基盤に、実験・測定・観察の創意工夫やデータ解析・結果の考察などを生徒の自主性の大きさも加味して総合的に評価。</p> <p>&lt;当日審査&gt; 2時間のポスター発表で5名以上の審査委員が着眼点、論理性、工夫、表現力の4点を評価。</p> <p>※表彰 書類審査・当日審査の結果をもとに、Jr.セッション委員会において賞を授与する研究を決定。</p>		

表1 SSH3 期目 (2016年度から2020年度) における生徒発表の受賞歴

2019年度	物理教育功労賞 (日本物理学会) 大羽 徹
	<p>研究論文 インターネット望遠鏡を利用した月の継続観測 一月と地球の公転運動の解析— 大羽 徹, 仁田野 竜大, 迫田 誠治, 表 實 日本物理教育学会, 2019年67巻3号, pp. 151-158</p>

表2 物理教育功労賞、研究論文



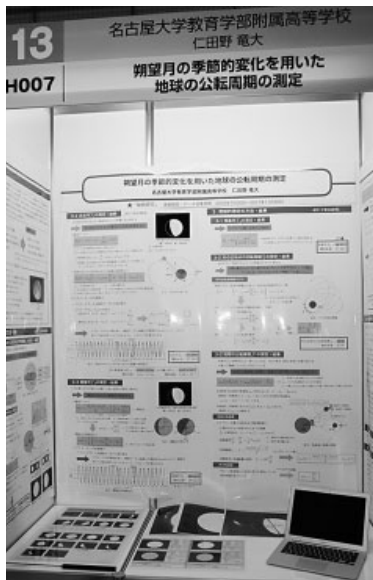


図1 JSEC2017最終審査で「月の解析グループ」が発表したブース



図2 JSEC2017で発表した研究内容が朝日新聞2018年1月20日朝刊地方版で紹介された

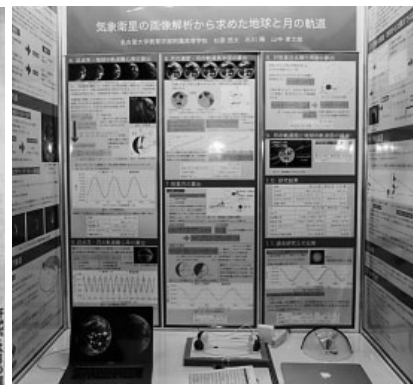


図3 JSEC2018最終審査で「気象衛星グループ」が発表したブース



図4 JSEC2019最終審査で「重力グループ」が発表したブース



図5 第15回日本物理学会Jr.セッション(2019)の受賞式(重力グループが「優秀賞」を受賞)



図6 相対論・宇宙論プロジェクト顧問の大羽徹が「物理教育功労賞」を日本物理学会長から授与











# 朔望月の季節的変化を用いた地球の公転周期の測定

名古屋大学教育学部附属高等学校

### 1. はじめに

月の黒い部分の割合を測定し、季節的変化から地球の公転周期を測定する。

### 2. 直接的測定の結果

地球の中心から月の中心までの距離 \$L\$ の測定・結果

- 地球の中心から月の中心までの距離 \$L = 3.84 \times 10^8\$ km
- 月の質量 \$m = 7.34 \times 10^{22}\$ kg
- 地球の質量 \$M = 5.97 \times 10^{24}\$ kg

### 3. 間接的測定の結果

地球の公転周期 \$P\$ の測定・結果

- 地球の公転周期 \$P = 365.25\$ 日
- 地球の公転速度 \$v\_e = 29.78\$ km/s

### 3-2 月の近地点の公転周期の測定・結果

月の近地点の公転周期 \$T\_2\$ の測定・結果

- 月の近地点の公転周期 \$T\_2 = 27.21\$ 日
- 月の近地点の公転速度 \$v\_2 = 4.08\$ km/s

### 3-2 月の遠地点の公転周期の測定・結果

月の遠地点の公転周期 \$T\_3\$ の測定・結果

- 月の遠地点の公転周期 \$T\_3 = 27.32\$ 日
- 月の遠地点の公転速度 \$v\_3 = 3.84\$ km/s

### 3-2 月の近地点の公転周期の測定・結果

月の近地点の公転周期 \$T\_2\$ の測定・結果

- 月の近地点の公転周期 \$T\_2 = 27.21\$ 日
- 月の近地点の公転速度 \$v\_2 = 4.08\$ km/s

### 3-2 月の遠地点の公転周期の測定・結果

月の遠地点の公転周期 \$T\_3\$ の測定・結果

- 月の遠地点の公転周期 \$T\_3 = 27.32\$ 日
- 月の遠地点の公転速度 \$v\_3 = 3.84\$ km/s

### 朔望月の測定

月の黒い部分の割合を測定し、季節的変化から地球の公転周期を測定する。

### 間接的測定

地球の中心から月の中心までの距離 \$L\$ の測定・結果

- 地球の中心から月の中心までの距離 \$L = 3.84 \times 10^8\$ km
- 月の質量 \$m = 7.34 \times 10^{22}\$ kg
- 地球の質量 \$M = 5.97 \times 10^{24}\$ kg

### 直接的測定

地球の公転周期 \$P\$ の測定・結果

- 地球の公転周期 \$P = 365.25\$ 日
- 地球の公転速度 \$v\_e = 29.78\$ km/s

### 2-1 地球の中心から月の中心までの距離 \$L\$ の測定・結果

地球の中心から月の中心までの距離 \$L\$ の測定・結果

- 地球の中心から月の中心までの距離 \$L = 3.84 \times 10^8\$ km
- 月の質量 \$m = 7.34 \times 10^{22}\$ kg
- 地球の質量 \$M = 5.97 \times 10^{24}\$ kg

### 2-2 近点月 \$T\_1\$・朔望月 \$T\_2\$ の測定・結果

近点月 \$T\_1\$ と朔望月 \$T\_2\$ の測定・結果

- 近点月 \$T\_1 = 27.55\$ 日
- 朔望月 \$T\_2 = 29.53\$ 日

### 2-2 近点月 \$T\_1\$・朔望月 \$T\_2\$ の測定・結果

近点月 \$T\_1\$ と朔望月 \$T\_2\$ の測定・結果

- 近点月 \$T\_1 = 27.55\$ 日
- 朔望月 \$T\_2 = 29.53\$ 日

### 2-2 近点月 \$T\_1\$・朔望月 \$T\_2\$ の測定・結果

近点月 \$T\_1\$ と朔望月 \$T\_2\$ の測定・結果

- 近点月 \$T\_1 = 27.55\$ 日
- 朔望月 \$T\_2 = 29.53\$ 日

# 3-2 地球の公転周期 \$P\$・軌道離心率 \$e\_e\$ の測定・結果

地球の公転周期 \$P\$ と軌道離心率 \$e\_e\$ の測定・結果

- 地球の公転周期 \$P = 365.25\$ 日
- 地球の軌道離心率 \$e\_e = 0.0167\$

地球の公転周期 \$P\$ と軌道離心率 \$e\_e\$ の測定・結果

- 地球の公転周期 \$P = 365.25\$ 日
- 地球の軌道離心率 \$e\_e = 0.0167\$

地球の公転周期 \$P\$ と軌道離心率 \$e\_e\$ の測定・結果

- 地球の公転周期 \$P = 365.25\$ 日
- 地球の軌道離心率 \$e\_e = 0.0167\$

地球の公転周期 \$P\$ と軌道離心率 \$e\_e\$ の測定・結果

- 地球の公転周期 \$P = 365.25\$ 日
- 地球の軌道離心率 \$e\_e = 0.0167\$

地球の公転周期 \$P\$ と軌道離心率 \$e\_e\$ の測定・結果

- 地球の公転周期 \$P = 365.25\$ 日
- 地球の軌道離心率 \$e\_e = 0.0167\$

地球の公転周期 \$P\$ と軌道離心率 \$e\_e\$ の測定・結果

- 地球の公転周期 \$P = 365.25\$ 日
- 地球の軌道離心率 \$e\_e = 0.0167\$

地球の公転周期 \$P\$ と軌道離心率 \$e\_e\$ の測定・結果

- 地球の公転周期 \$P = 365.25\$ 日
- 地球の軌道離心率 \$e\_e = 0.0167\$

図10 第14回日本物理学会J-セッション (2018) で「月の解析グループ」が発表したポスター (優秀賞を受賞)

# 120個-長大ガウス加速器の射出速度の減衰率測定

名古屋大学教育学部附属高等学校

## 1.はじめに

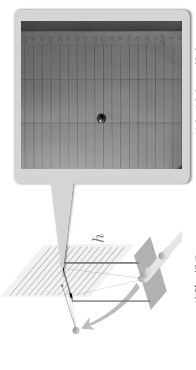
今回の研究において  
 ・ガウス加速器の射出球の速度  
 ・減衰球を射やした場合の射出速度の減衰率を計算した  
 ・ガウス加速器が加速できる運動数を求めた

## 2.射出速度の測定

2-1 考察した方法  
 高速カメラで衝突の様子を240コマ/秒で撮影  
 2種類のの方法で検証  
 コマ送りして鉄球の位置を測定・速度を計算

## 2-2 実験1(振り子を用いた測定)

方法 射出球を水で占めるしておき、衝突後到達する高さを計測する



計算  
 1 最高到達点 = 射出球が到達する最も高い点  

$$U = mgh = \frac{1}{2}mv^2$$
 計測から  $m = 4.09 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ ,  $h = 1.73 \times 10^{-1}$  より,  

$$U = 6.93 \times 10^{-3} \text{ J}$$

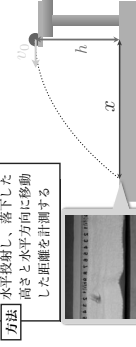
力学的エネルギーの保存

$$v_0 = 1.84 \text{ m/s} \quad v_0' = 1.83 \text{ m/s}$$

衝突解析

球を正確に衝突させる  
必要がある

## 2-3 実験2(水平投射射を用いた測定)



方法 水平投射し、落下した高さから水平方向に移動した距離を計測する

$$v_0 = \sqrt{\frac{x^2}{2h}}$$

計算  
 $v_0 = 1.89 \text{ m/s}$   
 $v_0' = 1.88 \text{ m/s}$

映像解析

正確性が保証された

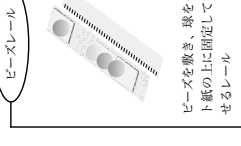
## 2-4 考察

それぞれの実験において計算速度とカメラによる計測値がほぼ一致

## 3.ガウス加速器の効率化

連続球を射やしたい  
 球をより自由に動かせる  
 レールが必要

## 3-1 2種類のレー



それぞれのレーを用いて衝突実験を行い、射出速度を比較する

球がちょうど浮いた状態で転がる側のレー

必要がなかった

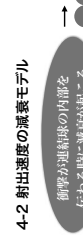
必要があった

## 4.連結球の個数と射出エネルギーの関係

### 4-1 実験の概要

良好な実験条件  
 ・浮きレールの使用  
 ・カメラを用いた射出速度の測定

### 4-2 射出速度の減衰モデル



衝突が連結球の内部を伝わる間に減衰が起こる

仮説  
 射出速度は連結球1個につき一定の割合で減少する  

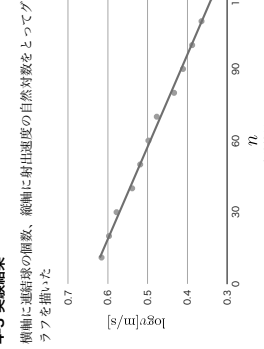
$$\frac{dv}{dt} = -kv$$

$$v = Ae^{-kn} \quad (A: \text{1個の速度})$$

$$\log v = -kn + \log A$$

### 4-3 実験結果

軸に連結球の個数、縦軸に射出速度の自然対数をとってグラフを描いた



グラフが1次関数  
 仮説が実証された

$$A = 1.91 \text{ m/s} \quad k = 2.60 \times 10^{-3}$$

### 4-4 考察

鉄球1個あたりの射出速度減衰率  
 0.260%

過去の研究で測定されてきた減衰率よりもはるかに小さい

連結球を射やす必要があった

減衰率の定義  

$$a = \frac{v_0 - v_n}{n}$$
 加速率

## 5.連結球の材質と加速率の関係

連結球の材質をジュロコン・真鍮の2種類用意し、実験4と同様に射出速度を測定

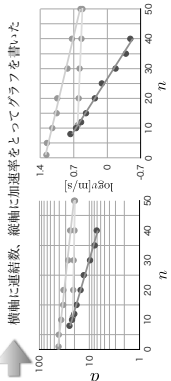


図2 実験結果

加速率が1となる連結球の時  
 初速と射出速度が等しくなる

材質	減衰率	加速限界
ジュロコン球	0.147%	255個
真鍮球	3.96%	88個
鉄球	0.260%	1190個

減衰率はそれぞれ異なる  
 減衰率は材質の持つ弾性係数に依存している

鉄球の射出速度の減衰係数が小さくなっている

磁石による吸引力を振り回すために射出エネルギーの一部が使われた  
 しかし弾性係数が大きいので減衰係数が小さくなる

## 6.まとめ

- ・射出速度を正確に測定する方法を開発した
- ・開発した手法により射出エネルギーの減衰率を求めた
- ・進入球が加速される限界となる連結数を求めた
- ・連結球の材質を変えてそれぞれの射出速度の減衰率を求めた
- ・材質によって減衰率は大きく異なることがわかった

## 7.今後の課題

今後は連結球の材質による射出速度の減衰率の違いを調べたい。

## 8.謝辞

本研究を進めるにあたり、本校の大田徳先生のご指導を頂きました。また、日本科学協会のサイエンスメーター制度事業の支援により、ご指導頂いた名古屋大学理学部理学科の三浦裕一准教授に厚く御礼申し上げます。最後に、実験器具を貸与頂いた名古屋大学教育開発院物理実験室に感謝いたします。

## 9.参考文献

牧原一義・杉本佳隆(2012)「ガウス加速器における自事とエネルギーの測定」, 三重大学教育学部研究紀要 第63巻自然科學, pp.1-5

図11 第13回日本物理学会Jr.セッション (2017) で「ガウス加速器グループ」が発表したポスター (奨励賞を受賞)

# 気象衛星の画像解析から求めた地球と月の軌道

名古屋大学教育学部附属高等学校



2017/12/23 2018/2/17 2018/6/23  
 図1: 気象衛星が撮影した地球の可視光画像。地球はほぼ垂直方向であり、太陽は明暗境界線に垂直な方向にある。よって、明暗境界線の傾斜は季節変化となる。明暗境界線の傾斜は、地球が傾いているため、経緯線には異なる。

## 1. はじめに

気象衛星が撮影した地球の可視光画像とインターネット望遠鏡で撮影した月の画像から地球と月の軌道速度を求める。地球の半径  $R_E = 6.371 \times 10^3$  km はわかっているとする。

## 2. 目的

気象衛星が撮影した地球の可視光画像とインターネット望遠鏡で撮影した月の画像から地球と月の軌道速度を求める。地球の半径  $R_E = 6.371 \times 10^3$  km はわかっているとする。

## 3. 構文軌道

地球の軌道 地球は太陽を焦点とする楕円軌道を描く。  
 $r_e(t) = a_e(1 - e_e \cos \phi(t))$   $t$ : ある時刻からの経過日数  
 $a_e$ : 地球の軌道半長軸  
 $e_e$ : 地球の軌道離心率  
 $\phi(t)$ : 真近点角  $\phi(t)$  の面積速度一定  $c_e$ : 地球の軌道面積速度  
 $\phi(t) = \frac{2\pi}{T_e}(t - t_0) + 2e_e \sin \frac{2\pi}{T_e}(t - t_0) - 2e_e \sin \frac{2\pi}{T_e}(t_0 - t_0)$   
 $T_e$ : 地球の公転周期  
 $t_0$ : 近日点にある時刻の日数

## 4. 地球の軌道

### 4-1 解析方法

近点年と地球の軌道離心率の過去の研究  
 太陽望遠鏡を用いた地球の軌道速度の算出 二田出(2018)  
 太陽望遠鏡で観測した太陽の真の角の軌道速度を求めた。地球と月の質量はわかっているとした。  
 近点年 地球の軌道離心率  $a_e$ : 地球の軌道半長軸  
 地球の軌道速度  $v_e$ : 地球の軌道速度  
 軌道離心率  $e_e$ : 地球の軌道離心率



図4: 太陽の真の角の過去の軌道速度

近点年の季節的変化を用いた地球の軌道速度の算出 二田出(2018)  
 インターネット望遠鏡で撮影した月の画像とインターネット望遠鏡で撮影した地球の画像から近点年と地球の軌道離心率を求めた。地球と月の質量はわかっているとした。  
 近点年 地球の軌道離心率  $a_e$ : 地球の軌道半長軸  
 地球の軌道速度  $v_e$ : 地球の軌道速度  
 軌道離心率  $e_e$ : 地球の軌道離心率

### 本研究

気象衛星の可視光画像を用いた地球の軌道速度の算出  
 半地球上に接する明暗境界線の傾斜から地球の軌道速度を求める。  
 近点年 地球の軌道離心率  $a_e$ : 地球の軌道半長軸  
 地球の軌道速度  $v_e$ : 地球の軌道速度  
 軌道離心率  $e_e$ : 地球の軌道離心率



図5: 気象衛星が撮影した地球の軌道

## 5月の軌道

### 5-1 解析方法

気象衛星が撮影した地球の可視光画像とインターネット望遠鏡で撮影した月の画像から地球と月の軌道速度を求める。地球の半径  $R_E = 6.371 \times 10^3$  km はわかっているとする。

### 算出した画像

世界4大都市に設置されているインターネット望遠鏡で撮影した月の画像。インターネット望遠鏡で撮影した月の画像。インターネット望遠鏡で撮影した月の画像。



### 図15: 太陽から見た月の軌道

太陽から見た月の軌道。地球の中心を原点とする。地球の中心を原点とする。地球の中心を原点とする。



### 図16: 月の軌道速度の算出

月の軌道速度の算出。地球の中心を原点とする。地球の中心を原点とする。地球の中心を原点とする。



### 5-3 近点年・月の軌道離心率・軌道半長軸の算出

観測点から月までの距離は月の距離  $a_m(t)$  に反比例する。  
 $a_m(t) = K(1 - e_m \cos \frac{2\pi}{T_m}(t - t_0))$   $K$ : 比例定数  
 $e_m$ : 月の軌道離心率  
 $T_m$ : 月の公転周期  
 $t_0$ : 近日点にある時刻の日数  
 $K$ : 比例定数  
 $a_m$ : 月の軌道半長軸  
 $e_m$ : 月の軌道離心率  
 $T_m$ : 月の公転周期  
 $t_0$ : 近日点にある時刻の日数



### 図17: 月の距離の変化

2015/7/20から5/2018/7/9までのデータを観測し、グラフは経過時間を12箇月間に分けて合成した。

月	得られた値	理科年表
近日点	27.54 ± 0.01 日	27.55 日
軌道離心率 $e_m$	$(5.498 \pm 0.095) \times 10^{-2}$	$5.498 \times 10^{-2}$
近点年 $T_m$	2015年8月4日	2015年8月2日

近点年の季節的変化を用いた地球の軌道速度の算出  
 $a_m = \frac{v_e T_m}{2\pi} (1 - e_m \cos \frac{2\pi}{T_m}(t - t_0))$   
 軌道速度から月の軌道速度を求める。

月	得られた値	理科年表
軌道半長軸 $a_m$	$(3.809 \pm 0.007) \times 10^5$ km	$3.844 \times 10^5$ km

## 5-4 恒星月の算出

角速度と周期の関係 二田出(2018)  
 $\omega_e(t) = \frac{2\pi}{T_e}(1 - e_e \cos \phi(t))$   
 $\omega_m(t) = \frac{2\pi}{T_m}(1 - e_m \cos \phi_m(t))$   
 $\omega_e$ : 地球の角速度  $T_e$ : 地球の公転周期  
 $\omega_m$ : 月の角速度  $T_m$ : 月の公転周期  
 本研究では、 $\phi = \phi_0 - \Delta\phi$  から  
 恒星月1周期後の  $\phi = \phi_0 - \Delta\phi$  における角速度  
 $\omega_e(\phi_0 - \Delta\phi) = \frac{2\pi}{T_e}(1 - e_e \cos(\phi_0 - \Delta\phi))$   
 地球の角速度  
 $\omega_e(\phi_0) = \frac{2\pi}{T_e}(1 + 2e_e \cos \phi_0)$  ( $e_e \ll 1$ )  
 $\omega_m = \frac{2\pi}{T_m}$  ので、平均運動を用いる。

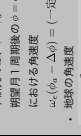
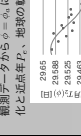


図18: 角速度と周期の関係  
 恒星月1周期後の  $\phi = \phi_0 - \Delta\phi$  における角速度  $\omega_e(\phi_0 - \Delta\phi)$  を求め、恒星月の季節的変化と近点年  $T_e$ 、地球の軌道離心率  $e_e$  から恒星月  $T_m$  を求める。

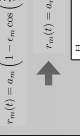


### 図19: $T_m(\phi)$ の時間変化

恒星月の季節的変化。地球の中心を原点とする。地球の中心を原点とする。地球の中心を原点とする。

### 5-5 対恒星近点年周期

地球の中心から月までの距離の時間変化  $r_m(t)$   
 $r_m(t) = a_m(1 - e_m \cos \frac{2\pi}{T_m}(t - t_0))$   
 $a_m$ : 月の軌道半長軸  
 $e_m$ : 月の軌道離心率  
 $T_m$ : 月の公転周期  
 $t_0$ : 近日点にある時刻の日数



太陽の重力により、近日点と遠地点を結んだ月  $\phi = \phi_0$  に対して近日点年  $T_m(\phi_0)$  が、遠地点を結んだ月  $\phi = \phi_0 + \pi$  に対して近日点年  $T_m(\phi_0 + \pi)$  が異なる。近日点年  $T_m(\phi_0)$  と遠地点年  $T_m(\phi_0 + \pi)$  の差を対恒星近点年周期  $T_m^*$  とする。  
 $T_m^* = T_m(\phi_0) - T_m(\phi_0 + \pi)$   
 $T_m^* = \frac{2\pi}{\omega_e(\phi_0) - \omega_e(\phi_0 + \pi)}$   
 $T_m^* = \frac{2\pi}{\frac{2\pi}{T_e}(1 - e_e \cos \phi_0) - \frac{2\pi}{T_e}(1 - e_e \cos(\phi_0 + \pi))}$   
 $T_m^* = \frac{T_e}{2e_e} (1 - e_e \cos \phi_0)$   
 $T_m^* = \frac{T_e}{2e_e} (1 - e_e \cos \phi_0)$

### 6. 考察

本研究では、気象衛星が撮影した画像解析により近点年と地球の軌道離心率を算出した。また、太陽望遠鏡で観測した月の距離の時間変化から、月の軌道速度を算出した。本研究の結果は、過去の研究と一致している。本研究の結果は、過去の研究と一致している。本研究の結果は、過去の研究と一致している。

### 7. 謝辞

本研究を進めるにあたり、本校相対論・宇宙論プロジェクト、副学部長の御指導をいただきました。また、日本科学振興会の「フロンティア・プログラム」の支援により指導をいただいた、名古屋大学工学部宇宙科学研究所の三浦一光教授に厚く御礼申し上げます。

### 8. 参考文献

- 二田出(2018) 気象衛星の可視光画像を用いた地球の軌道速度の算出
- 二田出(2018) インターネット望遠鏡で撮影した月の画像とインターネット望遠鏡で撮影した地球の画像から近点年と地球の軌道離心率を求めた。
- 二田出(2018) 太陽望遠鏡で観測した太陽の真の角の軌道速度を求めた。
- 二田出(2018) 太陽望遠鏡で観測した太陽の真の角の軌道速度を求めた。
- 二田出(2018) 太陽望遠鏡で観測した太陽の真の角の軌道速度を求めた。

図12 第15回日本物理学会J.セッション (2019) で「気象衛星グループ」が発表したポスター (優秀賞を受賞)



